УДК 613.6 : 667

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ОБРЫВОВ ПРОВОЛОК НЕСУЩЕ-ТЯГОВОГО КАНАТА НА ПАССАЖИРСКОЙ ПОДВЕСНОЙ КАНАТНОЙ ДОРОГЕ

А. А. Короткий, Э. В. Марченко, А. В. Панфилов
Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, РФ

korot@novoch.ru
a.panfilov@bk.ru
daedwardramler.ru

Представлены результаты экспертизы по установлению технических причин обрывов проволок несуще-тягового каната на пассажирской подвесной канатной дороге. Установлено, что основной причиной обрыва проволок являлся дефект в виде волнистости, возникающий вследствие неравномерного распределения растягивающей нагрузки между прядями каната. Наличие коррозии на дефектном участке свидетельствует о механизме неправильного взаимодействии прядей каната в зоне волнистости, выдавливании внутренней корсажной ленты и сердечника на протяжении счалки. Проведенная экспертиза позволила выявить, что повреждение пряди несуще-тягового каната является следствием неправильной эксплуатации канатной дороги в части не проведения ревизии несуще-тягового каната, невыполнении периодического нанесения специальных смазочных материалов на канат в целом и на место счалки. Ремонт вышеназванного несуще-тягового каната может быть осуществлен путем замены дефектной пряди, либо путем замены дефектного участка квалифицированными специалистами по технологии завода-изготовителя.

Ключевые слова: Несуще-тяговый канат, дефекты стального каната, обрывы проволок, волнистость, механизм образования волнистости.

Введение. В настоящее время в России развивается множество горно-туристических

UDC 613.6 : 667

TECHNICAL REASONS FOR WIRE BREAKS OF CARRIER-TRACTION ROPES ON PASSENGER CABLEWAY

A. A. Korotkiy , E. V. Marchenko, A. V. Panfilov
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

korot@novoch.ru
a.panfilov@bk.ru
daedwardramler.ru

The article presents the examination results in order to establish technical reasons for wire breaks of the carrier-traction rope on the passenger cableway. It was established that the main causes of breakage of wires were: a defect in the form of undulations, arising from the unequal distribution of tensile load be-tween the rope strands. Corrosion on the defective area indicates on the improper interaction between the strand ropes in undulation area, and the squeezing of the inner ribbon and the core all over the splice. The carried out examination has identified that the dam-age of carrier-traction rope strands is a con-sequence of improper use of cable cars, with regard to the failure to conduct carrier-traction rope audit, and not performing the periodic application of special lubricants on the whole rope and on the splice. Repair of the above mentioned carrier-traction rope can be done by replacing the defective strand or by replacing the defective part by the qualified technology manufacturer.

Keywords: Carrier-traction rope, defects of steel rope, broken wires, undulation, undulation mechanism.

Introduction. Nowadays Russia has many mountain tourist complexes, which use pas-

комплексов, на которых применяются пассажирские подвесные канатные дороги (ППКД). ППКД относятся к опасным производственным объектам, что говорит о высоких требованиях по обеспечению безопасности при эксплуатации данных объектов [1].

Основным документом, обеспечивающим безопасность эксплуатации пассажирских подвесных канатных дорог, являются федеральные нормы и правила (ФНП) в области промышленной безопасности: «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров» (с изменениями от 28 апреля 2016 года). Пунктом 546 вышеупомянутых правил определяется, что эксплуатация канатной дороги должна осуществляться в соответствии с эксплуатационной документацией и требованиями ФНП. В пункте 561 указано, что регламентные работы при эксплуатации КД и ее элементов следует производить в соответствии с руководством по эксплуатации [2].

В результате осмотра и визуально-измерительного контроля места дефекта установлено наличие волнистости (рис. 1), являющейся одним из браковочных показателей несуще-тягового каната.

senger ropeways. Passenger ropeways refer to the hazardous facilities, which mean that high requirements are needed to ensure safety in the operation of these facilities [1].

The main documents that ensure safe operation of passenger ropeways are Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Safety rules for passenger ropeways and funiculars" (with amendments dated April 28, 2016). Paragraph 546 of the above-mentioned rules determines that the operation of the ropeway must be carried out in accordance with the operating instructions and the requirements of Federal rules and regulations. Paragraph 561 indicates that maintenance work in the operation of passenger ropeway and its elements must be made in accordance with the operation guide [2].

After examination and visual-measuring inspection of the defect area the waviness was found (Fig. 1), which is one of the discard indicators of carrying-hauling ropes.

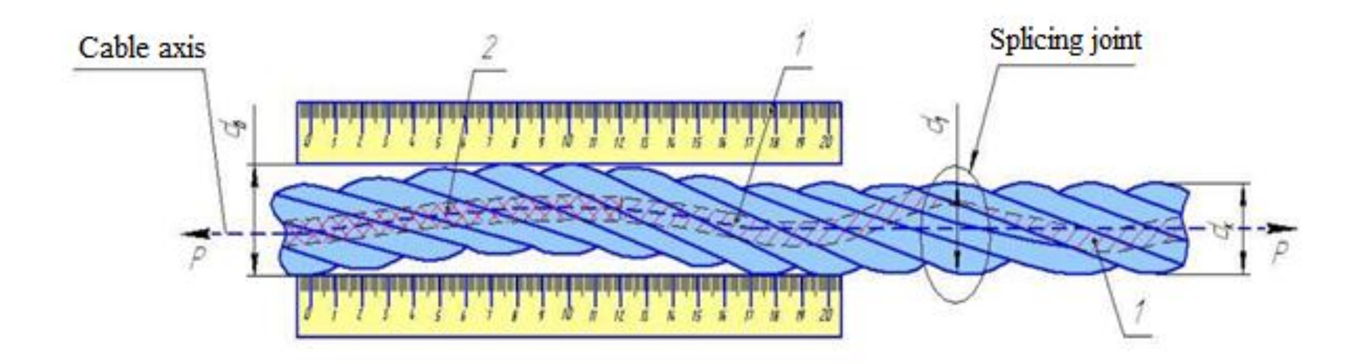


Рис. 1. Контролируемый параметр каната — диаметр волнистости

Fig. 1. Rope controlled variable - waviness diameter

Предельные значения волнистости по EN 12385–8 «Канаты стальные. Безопасность. Часть 8. Несущие и тяговые канаты из прядей для пассажирской канатной дороги» составляет 6%. ФНП эти параметры не определены. Для каната диаметром 48 мм, конструкции 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ, предельное значение параметра волнистости составляет 2,88 мм. На рис. 2 приведена фотография дефектного участка каната диаметром 48 мм, конструкции 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ. Значение параметра волнистости в зоне счалки выше допустимых значений и составляет 4 мм.

Waviness limit value according to EN 12385-8 " Steel wire ropes - Safety - Part 8: Stranded hauling and carrying-hauling ropes for cableway installations designed to carry persons" is 6%. Federal rules and regulations do not define these parameters. For cable of 48 mm in diameter, 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ design, the waviness limit value is 2.88 mm. Fig. 2 shows a photograph of the defective area of the rope of 48 mm in diameter, 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ design. The waviness parameter value in the splicing area is above the limit values, and is 4 mm.



Рис. 2. Фотография дефектного участка каната с волнистостью диаметром 48 мм, конструкции 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ

Fig. 2. Photo of the defective area of a rope with a 48 mm diameter waviness, 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ design

На дефектном участке каната установлено изменение его диаметра. Пунктом 115 ФНП «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров» установлено следующее: «Диаметр каната в зоне счалки, измеренный в натянутом состоянии, не должен превышать номинальный диаметр более чем на: 5% — между узлами счалки; 10% — в месте узлов счалки для КД с отцепляемым зажимом».

В результате замеров получен диаметр каната на участке между узлами счалки: максимальный диаметр составляет 51,4 мм, минимальный — 42,0 мм (рис. 3).

The diameter change is identified on the defective area of the rope. Paragraph 115 of Federal rules and regulations "Safety rules for passenger ropeways and funiculars" sets the following: "The diameter of the rope in the splicing area measured under tension, must not exceed the nominal diameter by more than: 5% — between splicing joints; and by 10% in the splicing joints area of a detachable cable rope".

Having carried out all the measurements we obtained the diameter of the rope in the area between the splicing joints: the maximum diameter is 51.4 mm, the minimum — 42.0 mm (Fig. 3).



Рис. 3. Фотография замеров диаметр каната конструкции
6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ на участке между узлами счалки

Fig. 3. Photo of the rope diameter measurements
of 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ design in the area between the splicing joints

Причиной произошедшего изменения диаметра несуще-тягового каната в месте счалки является волнистость, появившаяся из-за неравномерного распределения растягивающей нагрузки между прядями. На участке счалки каната был обнаружен дефект волнистости, превышающий браковочные показатели. Образование дефекта в виде волнистости характеризуется длительным процессом.

У каната без дефекта «волнистость» (рис. 4) равнодействующая нагрузка Px приложена в геометрическом центре каната. Все пряди в сечении нагружены равномерно. Между прядями существует тангенциальный зазор ▲. Пряди опираются на цельный пластиковый сердечник. При изгибе на шкиве пряди проворачиваются вокруг своей оси (как бы обкатываются вокруг цельного пластикового сердечника) и смешаются относительно друг друга.

У каната с наличием дефекта волнистости (рис. 5) равнодействующая нагрузка Px смещается квазистатически (постепенно) относительно геометрического центра каната на

The reason for the diameter changes of the carrying-hauling rope in splicing area is waviness caused by uneven distribution of tensile load between the strands. The waviness defect that exceeds the discard indicators was found in the splicing area. The waviness is characterized by a long-term formation process.

The rope without the "waviness" defect (Fig. 4) has the resultant force Px applied to the geometric center of the rope. All strands in the cross-section are loaded evenly. Between the strands there is a tangential gap ▲. Strands are rested upon a solid plastic core. Bending on the pulley strands rotate around their axes (like run-around a solid plastic core) and mix relative to each other.

For the rope with the waviness defect (Fig. 5) the resultant load Px shift quasistatically (gradually) relative to the geometric center of the rope by the eccentricity value e with a cyclic interaction with the pulley.

величину эксцентриситета e при циклическом взаимодействии со шкивом. В прядях каната происходит перераспределение нагрузки. При этом явлении между прядями меняется тангенциальный зазор ▲. На выпуклой части волнистости тангенциальный зазор ▲ между прядями увеличивается, на вогнутой — уменьшается (либо вообще отсутствует). При изгибе на шкиве пряди проворачиваются вокруг своей оси и смещаются относительно друг друга вокруг искривленной оси каната, за счет чего сердечник и внутренняя корсажная лента выдавливается наружу в тангенциальный зазор ▲ на выпуклой части волнистости.

Выдавливание внутренней корсажной ленты и сердечника на протяжении счалки наружу является длительным процессом, свидетельствующим о постепенном нарастании дефекта волнистости до критического значения (браковочного параметра). Ориентировочное время визуального появления выдавливания внутренней корсажной ленты составляет 2–3 года.

There is a redistribution of the load in the strands of the rope. The tangential gap ▲ varies between the strands in case of this phenomenon. On the convex part of the waviness the tangential gap ▲ between the strands increases, on the concave — decreases (or it even does not exist). Bending on the pulley strands rotate around their axes and shift relatively to each other around the curved axis of the rope, whereby the core and the inner grosgrain ribbon is extruded to the outside in the tangential gap ▲ on the convex part of the waviness.

The inner grosgrain ribbon and the core extrusion in the splicing area is a long process, indicating on the gradual waviness defect increase up to the critical value (discard indicator). Estimated time of the visual appearance of the inner grosgrain ribbon extrusion is 2-3 years.

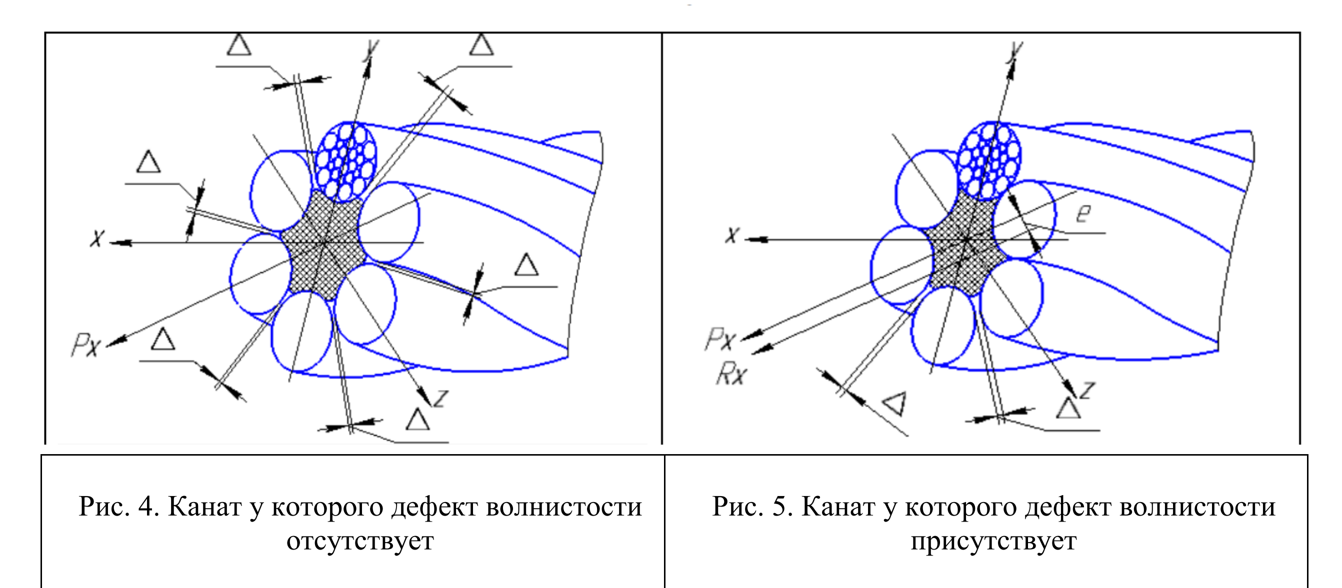


Рис. 4. Канат у которого дефект волнистости отсутствует Fig. 4. Rope with waviness defect	Рис. 5. Канат у которого дефект волнистости присутствует Fig. 5. Rope without waviness defect

При внешнем визуальном и измерительном контроле в месте счалки на одной из прядей обнаружен дефект в виде обрыва проволок (рис. 6).

The defect such as breakage of wires was found on one of the strands in the splicing area during the external visual and measuring control (Fig. 6).



Рис. 6. Фотография дефекта на одной из прядей в месте счалки в виде обрывов проволок каната конструкции 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ

Fig. 6. Photo of a defect on one of the strands in the splicing area in the form of broken wires of the rope of 6x26(1+5+5/5+10) WS-SPC 1600 B zZ design

Визуальным осмотром установлено наличие обрывов проволок на одной из прядей каната в месте счалки. Установлено наличие обрывов проволок из внешнего слоя пряди в количестве трех штук диаметром 3,6 мм, и порывы трех проволок из внутреннего слоя диаметром 2,45 мм и 1,95 мм.

Дефектоскопия каната также подтверждает наличие обрывов проволок. Каких-либо внешних воздействий (например, механических ударов, воздействия молнии, чрезмерного истирания проволок) на дефектном участке не обнаружено.

Имеется незначительное наличие коррозии на отдельных проволоках (рис. 6). Этот дефект образовался в результате повреждения поверхностного слоя цинка за счет трения при огибании шкива дефектным участком. При этом происходит контакт (касание) смежных прядей каната в процессе их относительного перемещения. Данный дефект наличия коррозии не является браковочным показателем и свидетельствует о неправильном механизме взаимодействия прядей каната в зоне волнистости.

Характер излома проволок свидетельству-

Visual inspection established the presence of breaks in the wires on one of the strands of the rope in the splicing area. There were established some breaks in the outer layer strands in total of three with a diameter of 3.6 mm, and the breaks of the three wires of the inner layer with a diameter of 2.45 mm and 1.95 mm.

Defect detection of the rope also confirms the presence of wires breaks. The results of any external influences (e.g. mechanical shock, the effects of lightning, excessive abrasion of the wires) are not detected in the defective area.

There is minor corrosion on individual wires (Fig. 6). This defect resulted from damage to the surface of the zinc layer due to friction when the defective area bent around the pulley. There occurs the contact (touch-down) between adjacent rope strands in the course of their relative movement. This corrosion defect is not a discard indicator and is an indication of incorrect mechanism of interaction of the rope strands in the waviness area.

ет, что их обрывы произошли из-за растягивающей нагрузки (наличие зоны текучести) и сдвиговых напряжений (косой срез под углом 30–45 градусов).

Характер излома свидетельствует о «силовом» разрушении проволок. В процессе изгиба на шкиве прядь, с дефектом в виде обрыва проволок, «закусывало» смежными прядями. Относительное проскальзывание прядей относительно других прядей отсутствовало, как и усталостное разрушение.

В связи с отсутствием обрывов проволок по длине каната и на других участках в месте счалки, можно предположить, что несуще-тяговый канат не исчерпал свою несущую способность по количеству циклов нагружения и может продолжить эксплуатироваться при выполнении ремонтных работ (например, при замене дефектной пряди или дефектного участка).

Библиографический список

1. Короткий, А. А. Канатные дороги нового поколения как элемент пассажирской транспортной инфраструктуры горного кластера Сочи–2014 / А. А. Короткий, А. В. Панфилов // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 6. — С. 38–41.
2. Логвинов, А. С. Пассажирские однокнатные дороги. Устройство и эксплуатация / А. С. Логвинов, А. А. Короткий. — Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2016. — 210 с.

Поступила в редакцию 03.11.2016
Сдана в редакцию 03.11.2016
Запланирована в номер 15.12.2016

Короткий Анатолий Аркадьевич,
Доктор технических наук, профессор,
Заведующий кафедрой «Транспортные системы и логистика» Донского государ-

The nature of wires breaks shows that their breakages occurred due to tensile load (the presence flow ranges) and shear stress (oblique cut at an angle of 30-45 degrees).

The nature of breaks indicates a "forceful" breaking of the wires. In the process of bending on the pulley the strand with a defect of wires breakage was "squeezed" between the adjacent strands. There was no relative slippage of the strands relative to the other strands as well as the fatigue failure.

Due to the nonoccurrence of breakage of the wires along the length of the rope and on other splicing parts, we can assume that carrying-hauling rope hasn't exhausted its carrying capacity by the number of loading cycles and could continue its service if all the repairs are performed (such as defective strands or defective area replacement).

References

1. Korotky A. A., Panfilov A.V. Kanatnye dorogi novogo pokoleniya kak element passazhirskoy transportnoy infrastruktury gornogo klastera Sochi. [Cable car of the new generation as an element of passenger transport infrastructure of the mountain cluster of Sochi.] Bezopasnost' truda v promyshlennosti, 2014, No. 6, pp. 38-41 (in Russian).
2. Logvinov A.S., Korotky A.A. Passazhirskie odnokanatnye dorogi. Ustroystvo i ekspluatatsiya. [Passenger one-cable roads. Design and operation.] Rostov-on-Don: Publishing center DGTU, 2016, 210 p. (in Russian).

Received 03.11.2016
Submitted 03.11.2016
Scheduled in the issue 15.12.2016

Anatoly Arkadevich Korotkiy
Doctor of technical Science, Professor,
Head, Transport systems and logistics Department, Don State Technical University

ственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1),
korot@novoch.ru

Панфилов Алексей Викторович, кандидат социологических наук,
аспирант кафедры «Транспортные системы и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1),
a.panfilov@bk.ru

Марченко Эдвард Викторович,
аспирант кафедры «Транспортные системы и логистика» Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина,1),
daedwardrambler.ru@mail.ru

(Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
korot@novoch.ru

Panfilov Alexey Viktorovich
Candidate of sociological Science,
Postgraduate-student, Transport systems and logistics Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
a.panfilov@bk.ru

Marchenko Edward Viktorovich,
Postgraduate-student, Transport systems and logistics Department, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
daedwardrambler.ru@mail.ru